

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-015911

(43)Date of publication of application : 24.01.1991

(51)Int.Cl.

G05D 3/12

(21)Application number : 01-150481

(71)Applicant : FANUC LTD

(22)Date of filing : 15.06.1989

(72)Inventor : IWASHITA HEISUKE

(30)Priority

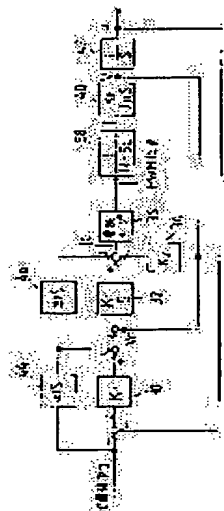
Priority number : 64 65921 Priority date : 20.03.1989 Priority country : JP

## (54) FEED FORWARDING CONTROL SYSTEM FOR SERVO MOTOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To improve the responsibility of a speed loop, to reduce the waviness of a position deviation, to improve the response delay of a servo system and to reduce a shape error by executing the feed forwarding control of a position and that of a speed.

CONSTITUTION: A feed forwarding item 46 is added. Namely, the feed forwarding item 46 of the speed differentiates the feed forwarding control variable of the position, sets a value obtained by multiplying a speed feed forwarding coefficient  $\alpha_2$  to be the feed forwarding control variable of the speed and makes it to be a current command by adding the feed forward controlled variable of the speed to the controlled variable obtained in speed loop control. Thus, the responsibility of the speed loop can be improved by executing speed feed forwarding control for the speed loop, and the responsibility of the whole servo system can be improved and the waviness of the position deviation can be reduced.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



$$\begin{aligned}
 \lim_{l \rightarrow \infty} \ell(l) &= \lim_{l \rightarrow \infty} S \cdot \epsilon(S) \\
 &= \lim_{l \rightarrow \infty} \frac{A}{S + K_P} = \frac{A}{K_P} \quad \dots (4) \\
 \text{一方、位置のフィードバック項44が加わると、位置偏差は次} \\
 \frac{P(S)}{a(S)} &= \frac{a \cdot 1 \cdot S + K_P}{S + K_P} \quad \dots (5)
 \end{aligned}$$

そこで、位置指令  $a(t) = At$  を入力し、定常状態に

なるときの位置偏差をみると、  
 $\epsilon(S) = a(S) - P(S)$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(1 - \alpha 1) S}{S + K_P} - a(S) \\
 &= \frac{(1 - \alpha 1) S}{S + K_P} - \frac{A}{S^2} \\
 &= \frac{(1 - \alpha 1)}{S + K_P} - \frac{A}{S} \quad \dots (6) \\
 \text{最終値定理より、定常位置偏差は第(7)式に示される。} \\
 \lim_{l \rightarrow \infty} \ell(l) &= \lim_{l \rightarrow \infty} S \cdot \epsilon(S) = \frac{(1 - \alpha 1) \cdot A}{K_P} \quad \dots (7)
 \end{aligned}$$

上記第(4)式と第(7)式を比較すると、位置ループゲイン  $K_P$  がフィードバック制御を行うことにより、 $K_P / (1 - \alpha 1)$  に増大していることがわかる。この位置ループゲインの増大によってサージ遅れを補償し、形状誤差等を少なくするものである。

発明が解決しようとする課題  
 上述したように、位置ループにフィードバック制御を行うと、サージ系の遅れを補償することになるが、位置のフィードバック制御は位置指令を一度積分するために、速度指令には、より高い周波数成分が多く含まれることとなる。この高い周波数成分を含む速度指令に対し、マイナーループの速度ループでは十分な応答が得られず、位置ループの要求を満足できない。上記位置フィードバック項44のフィードバック係数  $\alpha 1$  を1に近づけると、速度ループの応答性の限界(速度ループの遅れ)により位置偏差  $\epsilon$  はうねりを生じることがある。

例えば、フィードバック係数  $\alpha 1$  を0.8とし、第

変る位置ループ処理の位置指令間には大きな段差が生じる場合がある。これがフィードバック項で微分されて大きな値となり、速度指令は高周波成分を含むこととなり、速度ループで追従できなくなり、位置偏差にうねりが生じ、モータや機械の動きに大きなショックを発生させる原因となる場合がある。

そこで、本発明の目的は、位置のフィードバック制御に対し速度ループの応答性を高め、また、モータや機械の動きに大きなショックが発生することを防止し安定したサージ系を得るサージモータのフィードバック制御方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

本発明は、サージ制御において、位置指令を微分し位置のフィードバック制御を求め、位置ループ制御で得られた制御量に上記フィードバック制御量を加算し速度指令とし、上記位置のフィードバック制御量を微分して得られる速度のフィードバック制御量を、速度ループ制御によって得られる値に加算して電流指令とすることにより、速度フィードバック制御により速度ループの応答性を向上させ、位置のフィードバック制御により生じる位置偏差のうねりを軽減させる安定したサージ系を得る。

また、位置指令を微分し、微分された値に対し設定された加減速時定数による加減速制御を行い、加減速制御された値を位置のフィードバック制御量とし、位置ループ制御で得られた制御量に上記フィードバック制御量を加算することにより、位置指令を微分することによって生じる高周波成分を加減速制御で取り除き、サージモータや機械の動きに大きなショック(高周波成分によるショック)発生させないよう安定したサージ系を得る。

さらに、上述した加減速制御された位置のフィードバック制御量をさらに微分し、速度フィードバック制御量を求め、上記加減速制御された位置のフィードバック制御量によって補正された速度指令に対し、速度ループ制御を行って得られた制御量に上記速度フィードバック制御量を加算して電流指令とすることにより、より安定したサージ系を得る。またさらに、位置のフィードバック制御と位置指令を微分し、微分された値を加減速制御して位置のフィードバック制御量とし、速度のフィードバック制御として、上記位置のフィードバック制御量を微分し、微分された値を加減速制御して速度のフィードバック制御量とし、位置のフィードバック制御と位置指令を微分して電流のフィードバック制御量として電流のフィードバック制御を行ってもよい。

位置指令を微分して位置のフィードバック制御量とし、位置ループ制御で得られた制御量に加算すれば、位置指令の変化量に於いて位置のフィードバック制御

位置が速度指令に加算されることになるから、位置制御の応答性は良くなる。しかし、速度ループが従来のままであると、この位置のフィードバック制御が行われた位置ループからの指令に対し、速度ループは追従できなくなるおそれがあるが、速度ループにも速度フィードバック制御を行うことにより速度ループの応答性を向上させ、サージ系全体の応答性を良くし、その結果、位置偏差のうねりを軽減させることができる。

また、位置偏差を微分して位置のフィードバック制御量とすると、位置指令が大きく変化し、位置のフィードバック制御量は大きく変化することとなり(高周波成分を含むこととなり)、サージモータや機械系にショックを与える原因となるが、上記位置フィードバック制御量を加減速制御することによって、位置のフィードバック制御量の高周波成分を抑制し、変化量を軽減させることによってサージ系の安定を図ることができる。

さらに、位置指令を微分したものを加減速制御して位置のフィードバック制御量とし、この位置のフィードバック制御量を微分して速度のフィードバック制御量とすれば、位置指令を微分して生じる大きなノイズ(高周波成分)は抑制され、かつ、速度ループの応答性を良くし、位置偏差のうねりを防止し、サージ系の応答性を良くすることができる。

また、速度フィードバック制御においても、位置のフィードバック制御量を微分して、さらに加減速制御を行って速度フィードバック制御量とすることによって、さらに、この速度フィードバック制御量を微分して電流フィードバック制御量とすることによって、サージ系の応答性を向上させると共に安定性を向上させることができる。

実施例

第1図は本発明の一実施例のサージ系のブロック線図である。第6図の相違する点は速度のフィードバック項46が追加された点である。該速度のフィードバック項46は位置のフィードバック制御量を微分し、速度フィードバック係数  $\alpha 2$  を乗じたものを速度のフィードバック制御量とし、速度ループ制御で得られた制御量に上記速度のフィードバック制御量を加算して電流指令とすることである。上記速度フィードバック係数  $\alpha 2$  は通常、 $1m/s$  (m:メートル、s:秒)の値に近い値がとられる。なお、位置のフィードバック係数  $\alpha 1$  の値はモータの特性等に合わせ実験的に決められる(理想的には「1」がよい)。

上記実施例においては、位置指令  $a$  を微分し、その微分値に位置のフィードバック係数  $\alpha 1$  を乗じて位置のフィードバック制御量とし、通常の位置ループ制御、即ち、位置指令  $a$  からモータの現在位置  $P$  を減じて位置偏差  $\epsilon$  を求め、これに位置ループゲイン  $K_P$  を乗じ

て通常の速度指令を求める。そして、この通常の速度指令に位置のフィードフォワード制御量を加算し、位置のフィードフォワード制御が行われた位置指令 $a_n$ を求める。

一方、位置のフィードフォワード制御量を微分し、速度のフィードフォワード係数 $a_2$ を乗じ、速度のフィードフォワード制御量を求め、かつ、従来の同様の速度ループ制御 (P制御)、即ち、速度指令 $a$ からサーボモータの実速度 $V$ を減じた速度偏差を求め、該速度偏差を積分し積分ゲイン $K_I$ を乗じた値からサーボモータの実速度 $V$ に比例ゲイン $K_P$ を掛けつけた値を得る従来の電流指令値に、上記速度フィードフォワード制御量を加算し電流指令 $i_c$ を求める。

こうして、電流指令 $i_c$ を求めた後は、従来と同一の処理を行うものである。

位置指令 $a$ の値が変化すれば位置偏差 $e$ も大きくなり、通常の位置ループ処理で出力される速度指令も大きく変化するが、位置ループ処理の遅れがある。しかし、位置のフィードフォワード制御によって、位置指令 $a$ の値が変化した時に位置のフィードフォワード制御量も増大して速度指令に加算され、フィードフォワード制御された速度指令となるから、位置ループの遅れは補償される。

また、速度ループも同様で、速度指令 $a$ の変化に応じて、通常の速度ループ処理による電流指令も変化するが、積分項があるため遅れが生じる。しかし、この場合も、積分のフィードフォワード制御によって速度のフィードフォワード制御量が加算され電流指令となるから、速度ループの遅れも補償され、全体としてサーボ系の応答は向上する。その結果、位置指令 $a$ に対するサーボモータの追従性が良くなり、位置偏差 $e$ のうねりは軽減されることとなる。

第2図は本発明の第2の実施例で、第6図と相違する点は位置のフィードフォワード制御項44の後に加減速制御項48が加えられ、速度のフィードフォワード項46をなくしている点で、他は第6図と同一である。なお、第2図は、その要部だけを示している。従来のように、位置指令 $a$ を微分したものを通常の位置ループ処理で得られる速度指令に加算しフィードフォワードされた速度指令 $V$ とすると、位置指令 $a$ が大きく変化したときその微分値が大きくなり、速度指令は急激に変化する。そのため、加減速制御を行って速度指令の急激な変化を軽減させたものである。

第12図 (a)、(b) は位置ループのフィードフォワード項に直接加減速時定数を持たせない従来の方式 (第6図) において、移動指令 $a$ をステッピング状に変化したときの速度指令の変化を実験によって抽出したもので、第12図 (a) は加速時、第12図 (b) は減速時の速度指令の変化を示しており、速度指令が急激に変化していることがこの実験データより分かる。

一方、第13図 (a)、(b) は位置ループのフィードフォワード項に直接加減速時定数を持たせた第2の実施例の方式 (第2図) において、移動指令を第12図の場合と同様の量だけステッピング状に変化したときの速度指令と変化を実験で抽出したもので、第13図 (a) は加速時、第13図 (b) は減速時の速度指令の変化を示している。この第13図 (a)、(b) の実験データから、第12図 (a)、(b) の従来の方式と比較し、速度指令の急激な変化がなくなることが分かる。

また、第14図、第15図はサーボモータを定速回転させたときの従来の方式 (第6図) と本実施例の方式 (第2図) による速度指令の変化を実験的に求めたもので、第14図は従来の方式 (第6図) によるもので、第15図は直接加減速時定数をフィードフォワード項に加えて加減速制御を行ったときの本実施例 (第2図) の速度指令値の変化である。数値制御装置からの位置指令のむら (パルス分配のむら) のため速度指令も変化しているが、フィードフォワード項に直接加減速時定数を加えた本発明の方式においては、上記位置指令のむらが加減速時定数によって制御されるため、平均化され、速度指令もより滑らかになっていることが分かる。

第3図は本発明の第3の実施例の要部ブロック線図で、この実施例は上記第1、第2の実施例を同時に実行するものであり、第1図に示す第1の実施例のブロック線図において、位置のフィードフォワード制御に加減速制御48を入れたものである。

この実施例においては、第1図で示す第1の実施例において、位置指令 $a$ の微分による急激な変化 (ノイズ) が発生し、前述したように、位置偏差 $e$ に第9図に示すようにうねりが生じるような場合、上記急激な変化を軽減させ、かつ、速度ループの遅れを速度フィードフォワード制御によって補償し、位置偏差 $e$ のうねりを軽減させるものである。

この第3の実施例において、位置指令 $a$ に第9図の実験結果を得た場合と同じ条件のランダム入力をした場合、位置偏差 $e$ の変化は第10図に示すように急激化し、うねりが低減していることが分かる。

このように、位置のフィードフォワード制御に加減速制御を加え、速度ループにフィードフォワード制御を行うことによって、サーボ系の応答性を改善し、系の安定性を保ちつつ、位置偏差のうねりを低減させ、これによって高速加工時の形状誤差を小さくすることができ、

第4図は本発明の第4の実施例のブロック線図の要部であり、第3図に示す第3の実施例と相違する点は速度フィードフォワード制御に加減速制御 (50) を加えた点であり、これにより、位置のフィードフォワード制御量を微分してノイズ状に大きく変化する微分値を加減速制御で軽減させ、電流指令値の急激な変化を防止したものである。

第5図は本発明の第5の実施例のブロック線図の要部

であり、第4図に示す第4の実施例と相違する点は、電流ループに電流のフィードフォワード制御 (52) を行ったもので、加減速された速度フィードフォワード制御量を微分して電流ループで得られた値に加算し、この値で電流指令を作るようにしたものである。また、この電流フィードフォワード制御においても、加減速制御を入れて急激な変化をおさえてもよい。

第7図は、本発明の各実施例を実施するデジタルサーボ制御装置のブロック図であり、構成は従来のデジタルサーボ制御を行う装置と同一構成であるので、概略的に示している。

第7図において、10は数値制御装置 (以下、NCという)、12は共有RAM、14はマイクロコンピュータ (以下、CPUという) 構成のデジタルサーボ回路、16はトランジスタインバータ等のサーボアンプ、18はサーボモータ、20はサーボモータ18の回転と共にパルス発生するパルスコーダである。

NC10は位置指令周期 (分配周期) 1TP毎に位置指令を共有RAM12に書き込み、デジタルサーボ回路14のCPUはこの位置指令を共有RAM14から読取り、上記位置指令周期1TPをN個に分割した周期TP (TP=TP×N) で、位置ループ処理を行う。1TP周期毎NC10から出力される位置指令が1TP周期中均等に分配されるように位置ループ処理TP

$$b_n = \frac{1}{TP} (a_n - a_{n-1}) \quad \dots \dots (8)$$

なお、従来のサーボモータのフィードフォワード制御における位置のフィードフォワード制御では、上記 $b_n$ の値に位置のフィードフォワード係数 $\alpha_1$ を乗じてフィードフォワード制御量としていた。

一方、本実施例においては、上記微分値 $b_n$ に対して加

$$C_n = \frac{\alpha_1}{m} (b_n + b_{n-1} + \dots + b_{n-m+1}) \quad \dots \dots (9)$$

なお、 $\alpha_1$ は位置のフィードフォワード係数である。上記第 (9) 式に第 (8) 式を代入すると、次の第

$$\begin{aligned} C_n &= \frac{\alpha_1}{m \cdot TP} (a_n - a_{n-1} + a_{n-2} + \dots + a_{n-m+1} - a_{n-m}) \\ &= \frac{\alpha_1}{m \cdot TP} (a_n - a_{n-m}) \quad \dots \dots (10) \end{aligned}$$

そこで、位置ループ処理周期毎上記第 (10) 式の演算を行ってフィードフォワード制御量 $C_n$ を求め、通常の位置ループ処理の出力値に加算して速度指令を求めれば、フィードフォワードの微分操作に伴うフィードフォワード制御量の急激な変化を防ぐことができる。

第8図は、第3図に示す第3の実施例を実施するデジタルサーボ回路14のCPUの処理のフローチャートで、該C

における位置指令 $a_n$ を求め、この位置指令 $a_n$ をパルスコーダ20からのフィードバックパルスによって得られるサーボモータ18の現在の位置との差より位置ループ処理を行うと共に、後述する位置のフィードフォワード制御処理を行って速度指令を求め、次に、該速度指令とパルスコーダ20からのフィードバックパルスによって得られるサーボモータ18の実速度より速度ループ処理、さらには速度のフィードフォワード処理を行い、電流指令を求める。そして、電流ループ処理、さらには電流フィードフォワード処理を行い、電流指令を作成し、サーボアンプ16を介してサーボモータ18を駆動する。

上記サーボモータ18のサーボ制御のうち、通常の位置ループ制御処理、速度ループ制御処理、電流ループ制御処理は従来と同様な方法で行うものであるが、第3図に示す第3の実施例の処理について以下説明する。

まず、位置のフィードフォワード制御について説明する。位置、速度ループ処理の周期をTPとし、各位置、速度ループ処理における位置指令を $a_n$  ( $n=1, 2, 3, \dots$ ) で、 $n \leq 0$ では $a_n=0$ とすると、位置指令 $a_n$ の微分値 $b_n$ は実際には差分として次の第 (8) 式の演算によって算出される。

減速時定数 $m$ TP ( $m$ は正整数) で直接加減速制御を行ってフィードフォワード制御量 $C_n$ を求める。即ち、フィードフォワード制御量 $C_n$ は次の第 (9) 式の演算によって求められる。

$$C_n = \frac{\alpha_1}{m} (b_n + b_{n-1} + \dots + b_{n-m+1}) \quad \dots \dots (9)$$

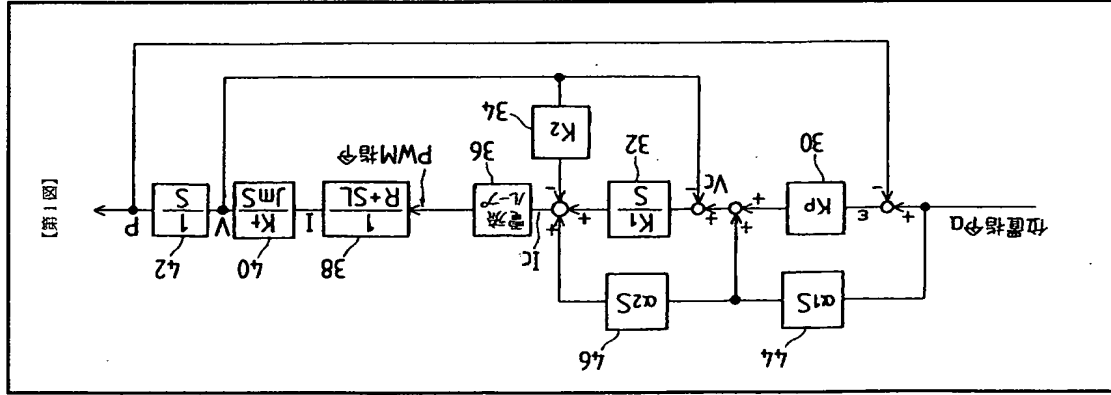
なお、 $\alpha_1$ は位置のフィードフォワード係数である。上記第 (9) 式に第 (8) 式を代入すると、次の第

$$\begin{aligned} C_n &= \frac{\alpha_1}{m \cdot TP} (a_n - a_{n-1} + a_{n-2} + \dots + a_{n-m+1} - a_{n-m}) \\ &= \frac{\alpha_1}{m \cdot TP} (a_n - a_{n-m}) \quad \dots \dots (10) \end{aligned}$$

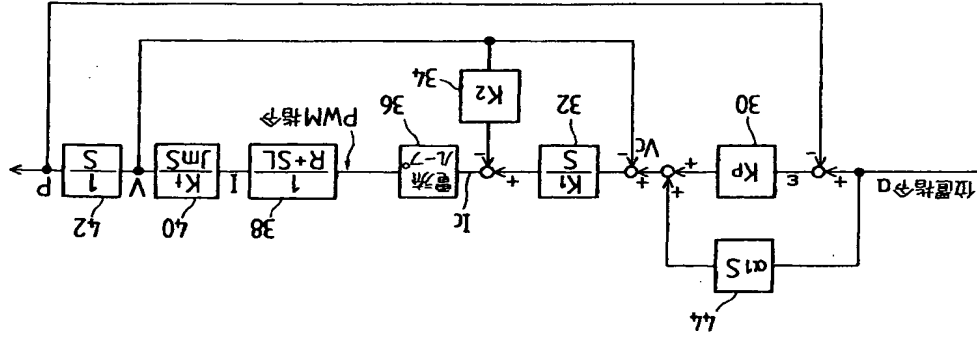
PUは位置ループ処理周期TP毎に行っており、第8図においては、 $n$ 回目の位置ループ処理周期の処理として記載している。

まず、当該位置ループ処理における位置指令 $a_n$ を読み込み、単位系の変換処理を行い (ステップS1)、次に、レジスタR ( $m$ ) に記憶されている当該周期より $m$ 回前の位置指令 $a_{n-m}$ を減算 (ステップS2)。

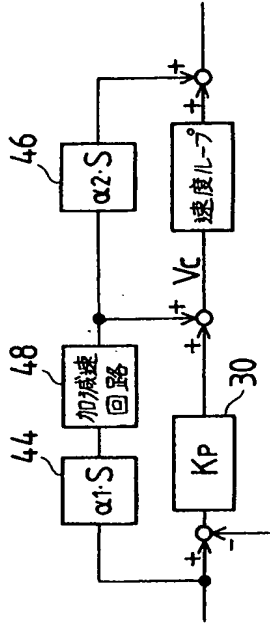




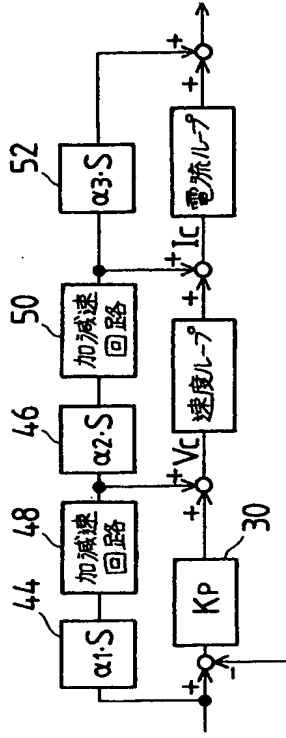
【第6図】



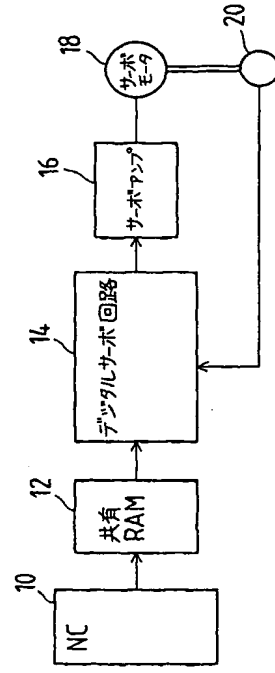
【第3図】



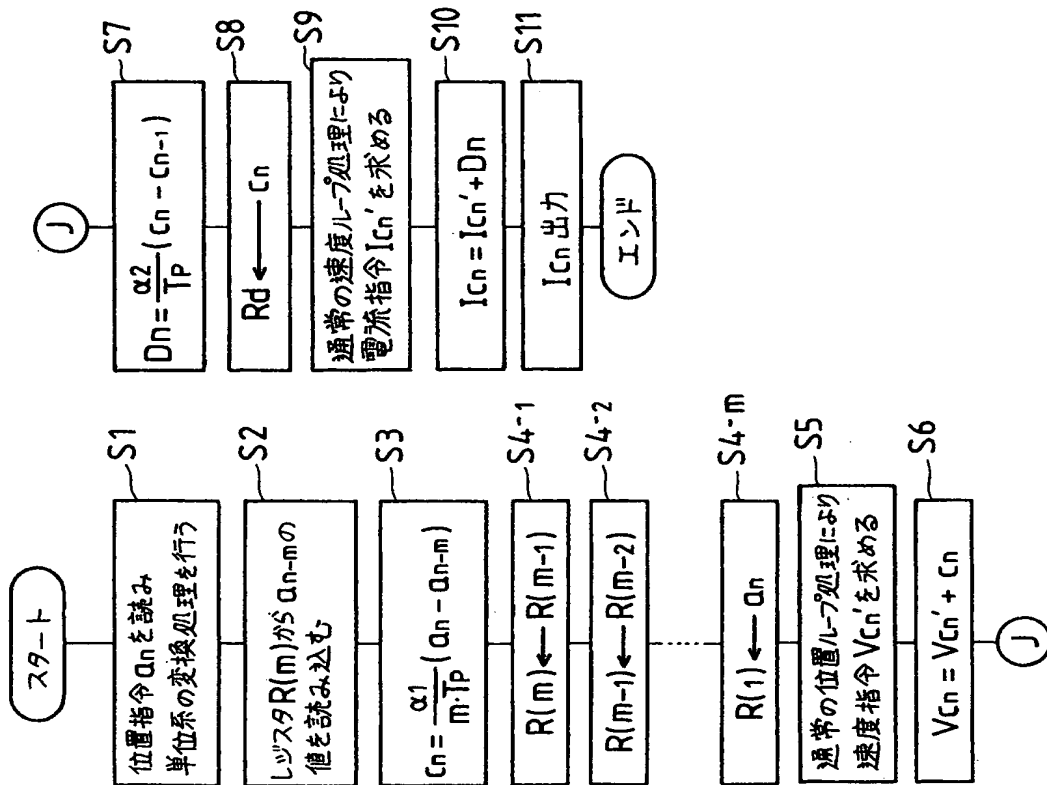
【第5図】



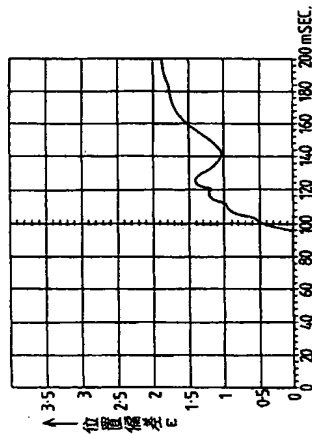
【第7図】



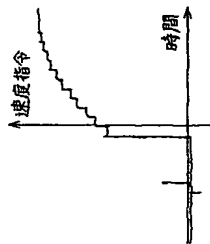
【第8図】



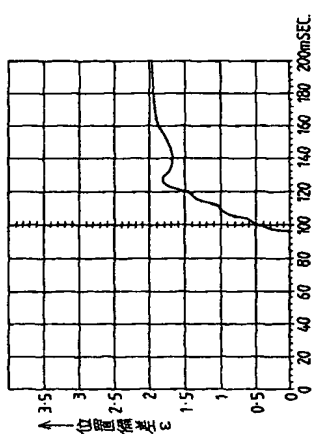
【第9図】



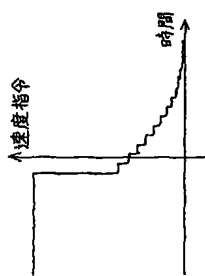
【第12図 (a)】



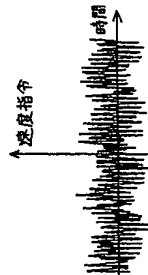
【第10図】



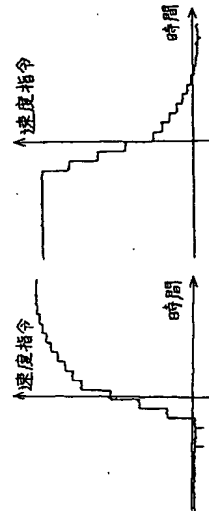
【第12図 (b)】



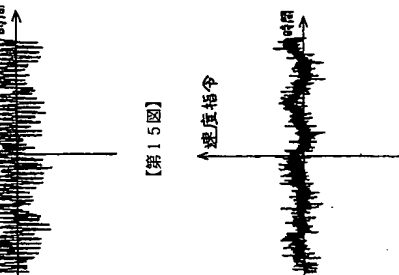
【第14図】



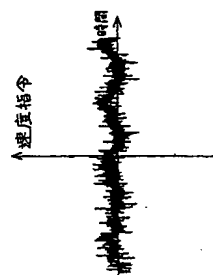
【第13図 (a)】



【第13図 (b)】



【第15図】





(56) 参考文献

特開 昭61-121102 (J P, A)  
特開 昭62-77603 (J P, A)  
特開 昭63-36941 (J P, A)  
特開 昭62-24302 (J P, A)  
特開 平2-191908 (J P, A)  
特開 平1-222302 (J P, A)

(58) 調査した分野(Int. Cl.<sup>8</sup>, D B 名)

G05D 3/12  
G05D 3/12 305  
G05D 3/12 306

(13)

特許2762364

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**